

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ
ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**



Галушко Дмитро Олександрович

УДК 004.05

**УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПОСЛУГ У КОРПОРАТИВНИЙ
ІТ-ІНФРАСТРУКТУРІ**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автоматики та управління в технічних системах Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор, зав. каф. Автоматики та управління в технічних системах
Ролік Олександр Іванович,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор, декан факультету інформаційних технологій
Снитюк Віталій Євгенович,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

кандидат технічних наук, науковий співробітник науково-дослідного відділу автоматизованих інформаційних систем
Новицький Олександр Вадимович,
Інститут програмних систем НАН України

Захист відбудеться «14» травня 2021 р. о 15 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.29 при Національному технічному університеті України «КПІ», 03056 Київ, проспект Перемоги, 37, корпус № 11, аудиторія № 215.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: м. Київ, пр. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «14» квітня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, професор,
декан факультету інформатики та
обчислювальної техніки



Теленик С.Ф.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сьогодні інформаційні технології використовуються у всіх сферах людської діяльності, а їх повсюдне використання є характерною рисою ведення сучасного бізнесу. Завдяки інформаційним технологіям з'являється можливість автоматизувати майже усі бізнес-процеси, а автоматизація окремих бізнес-процесів сприяє підвищенню ефективності ведення бізнесу в цілому.

Для впровадження та використання інформаційних технологій корпорації створюють ІТ-інфраструктури. А ІТ-послуги, які надаються ІТ-інфраструктурами, можуть використовуватися корпораціями для власних потреб або надаватися стороннім організаціям та фізичним особам.

Від ефективності функціонування ІТ-інфраструктури безпосередньо залежить якість ІТ-послуг і, як наслідок, ефективність ведення бізнесу в цілому. Власники ІТ-інфраструктур змушені прикладати багато зусиль та витратити багато коштів на контроль якості ІТ-послуг, підтримку якості надання ІТ-послуг на узгодженому рівні та вчасно реагувати на події, що призводять, або можуть призвести, до зниження рівня якості ІТ-послуг. Для часткової або повної автоматизації цього процесу розробляються та впроваджуються системи управління ІТ-інфраструктурою. При оперативному автоматичному управлінні ІТ-інфраструктурою з ціллю підтримки якості надання ІТ-послуг на узгодженому рівні, системам управління необхідно вирішувати завдання оцінки поточного рівня якості ІТ-послуг, оцінки фактичного рівня якості ІТ-послуг, визначення та вироблення керуючого впливу на компоненти ІТ-інфраструктури.

Сьогодні існує багато відомих компаній, серед яких Google, NetCracker, Oracle, CISCO, Microsoft, IBM, Intel, Hewlett-Packard та інші, що зацікавлені у вирішенні задач управління якістю ІТ-послуг. Вони розробляють власні рішення, або об'єднуються з науковцями та створюють міжнародні організації або форуми (TM Forum, Office of Government Commerce, IEEE, ISO та ін.), які займаються проблематикою управління якістю послуг та керування ІТ-інфраструктурою. Даним напрямом цікавляться і науковці з провідних світових університетів. У КПІ ім. Ігоря Сікорського ведуться активні наукові дослідження з управління ІТ-інфраструктурами на основі сервісно-орієнтованого та декомпозиційно-компенсаційного підходів; професори та аспіранти зі шведського університету "Umea University" та хорватського університету "University of Split" вивчають вплив якості та вартості надаваних послуг на рівень задоволеності клієнтів, а, також, розробляють рекомендації щодо нормативних значень параметрів якості ІТ-послуг; корейським університетом Kwangwoon University розробляються алгоритми та методи, що забезпечують надання більш якісних ІТ-послуг.

Управлінню ІТ-інфраструктурами присвячено ряд наукових робіт (Глушков В.М., Палагін О.В. та ін.). Управління ІТ-інфраструктурою спирається на такі напрями наукових досліджень як: системний аналіз (Вернадський В.І., Згуровський М.З., Панкратова Н.Д. та ін.), математичні методи вирішення задач оптимізації (Данціг Д.Б., Михалевич В.С., Павлов О.А., Кузнецов М.Ю., та ін.), інформаційні технології та системи (Перевозчикова О.Л., Сергієнко І.В., Андон П.І., Теленик С.Ф., Ролік О.І., Фіпсу Дж. та ін.), управління якістю послуг (Демінг У., Джуран Д., Шьюхард Д. та ін.), теорія управління багатооб'єктними системами (Кунцевич В.М., Лебедев Д.В., Подладчиков В.М., Кузнецов М.А., Месарович М., Беллман Р. та ін.), теорія

штучного інтелекту (Хопфілд Д.Д., Голдберг Д., Зайченко Ю.П., Гуляницький Л.Ф., Бідюк П.І. та ін.).

Але, здебільшого, в основі їх систем управління лежить алгоритми реакції на вихід з ладу обладнання або інших елементів ІТ-інфраструктури, чи розглядаються алгоритми керування окремими конкретними сервісами, що надаються ІТ-інфраструктурою. Комплексного рішення, що базується не на якості функціонування елементів ІТ-інфраструктури як постачальників послуг, а на якості самих ІТ-послуг, що надаються інфраструктурою, не існує.

Використання запропонованих в роботі методів та моделей управління якістю ІТ-послуг у ІТ-інфраструктурах корпоративного рівня, створення на їх основі інформаційних технологій управління якістю ІТ-послуг в умовах консолідації інформаційно-обчислювальних ресурсів і використання засобів віртуалізації, та подальше використання цих технологій у різноманітних системах управління ІТ-інфраструктурами для автоматичного управління рівнем якості ІТ-послуг, дозволить не лише підтримувати узгоджений рівень ІТ-послуг, а ще й раціонально використовувати інформаційно-обчислювальні ресурси, що задіяні для надання цих послуг. Тому дана робота, яка присвячена управлінню корпоративними ІТ-інфраструктурами задля забезпечення та підтримки заданого рівня якості ІТ-послуг, є актуальною

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. В дисертаційну роботу включені основні результати, отримані автором в період з 2007 по 2021 рр. на кафедрі автоматики та управління в технічних системах Національного технічного університету України «Київський політехнічний інституту імені Ігоря Сікорського» в рамках наукового напрямку кафедри «Управління ІТ-інфраструктурою». Тематика роботи включена в науково-технічні плани Наукового парку «Київська політехніка», навчально-наукового центру «НТУУ «КПІ»-Неткрекер», кафедри автоматики і управління в технічних системах. Робота виконувалася в рамках таких держбюджетних і договірних науково-дослідних (НДР) і дослідно-конструкторських (ДКР) робіт: НДР №2143-ф «Розробка методів і засобів управління функціонуванням інформаційно-телекомунікаційних систем» (Держ. реєстр. роботи № НДР 0108U000490, держ. номер обл. звіту 0209U010830); НДР № 2302-ф «Розробка і дослідження математичних моделей та методів аналізу, синтезу і управління великими інформаційно-телекомунікаційними системами» (нерж. номер реєстр. роботи НДР 0110U002195, держ. номер обл. звіту 0212U007761); НДР №2601-ф «Розроблення і дослідження моделей, методів та технологій проектування, програмування і управління хмарними ІТ-інфраструктурами» (Держ. реєстр. номер роботи НДР 0113U002285, держ. номер обл. звіту 0216U005227); НДР №2844-п «Розробка та впровадження системи управління ІТ-інфраструктурою з консолідованими інформаційно-обчислювальними ресурсами» (держ. реєстр. номер роботи НДР 0115U000322); НДР №2919-ф «Платформа розроблення, експлуатації і розвитку критичних ІТ-інфраструктур для роботи з великими даними» (держ. реєстр. номер роботи НДР 0116U003801, держ. обл. номер звіту 0219U001317); НДР №2024 «Хмарна платформа розроблення і управління функціонуванням критичних ІТ-інфраструктур, що опрацьовують великі обсяги даних» (держ. реєстр. номер роботи НДР 0117U000537, держ. обл. номер звіту 0220U100804); договорів № 1/562-09 від 29.01.2009 р, № 1/562-10 від 27.01.2010 р; № 1-577/11 від 19.07.2011 р та № 1/577-12 від 06.07.2012 р з ТОВ «НЕТКРЕКЕР». Всі роботи завершувалися створенням

модулів інформаційної технології управління IT-інфраструктурою, макетів і дослідних зразків системи управління IT-інфраструктурою або її підсистем

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є забезпечення підтримки якості IT-послуг на заданому рівні шляхом розроблення та впровадження моделей, методів, інформаційних технологій та інструментів керування IT-інфраструктурою за умов раціонального використання її консолідованих інформаційно-обчислювальних ресурсів.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі завдання:

1. Проаналізувати проблеми управління якістю IT-послуг у корпоративній IT-інфраструктурі та встановити дії, які необхідно виконувати для підвищення конкурентоспроможності та ефективного виконання бізнес-процесів постачальників IT-послуг.

2. Проаналізувати властивості IT-послуг, які надають користувачам корпоративні IT-інфраструктури, та визначити показники функціонування компонентів IT-інфраструктури, які впливають на продуктивність застосунків, які надають відповідні послуги. Визначити за яких умов та яким чином є можливість керувати рівнем якості IT-послуг, що надаються IT-інфраструктурою.

3. Розробити метод визначення поточного рівня якості IT-сервісів на основі параметрів функціонування компонентів IT-інфраструктури, які задіяні для надання IT-послуг, що розглядаються. Визначити способи отримання або розрахунку значень параметрів обладнання, що впливають на якість IT-послуг.

4. Розробити алгоритм навчання нейронної мережі, що дозволить автоматично визначати структуру нейронної мережі.

5. Розробити метод визначення компонентів IT-інфраструктури, функціонування яких має відхилення від нормативного.

6. Розробити метод визначення поточного рівня якості IT-послуг що базуються на аналізі статистики, яка формується на основі параметрів функціонування елементів IT-інфраструктури.

7. Розробити метод управління якістю IT-послуг на основі даних моніторингу функціонування інформаційно-телекомунікаційних компонентів IT-інфраструктури, задля забезпечення узгодженого рівня якості сервісів, що надаються.

7. Розробити метод пошуку компонентів IT-інфраструктури, що надає IT-послуги, що мають відхилення від нормативного функціонування.

8. Розробити підхід, що дозволяє налаштовувати систему автоматичного управління IT-інфраструктурою. Даний підхід має дозволяти IT-підрозділу легко налаштовувати сценарії поведінки системи управління, які будуть задіяні при відхиленні рівня якості послуг, що надаються IT-інфраструктурою

9. Розробити метод, що дозволить автоматично керувати множиною гомогенних серверів та балансувати навантаження. Даний метод дозволить IT-інфраструктурі реагувати на збільшення користувачів сервісами, що надаються.

10. На базі запропонованих методів розробити підхід до створення інформаційної технології управління IT-послугами, яка відрізняється від існуючих високою точністю оцінки рівня якості сервісів, що дозволить підвищити швидкість та продуктивність керуючих впливів при управлінні рівнем якості IT-послуг.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Вперше розроблено структурний метод навчання нейромережових класифікаторів, який є вдосконаленим методом зворотного поширення похибки.

Метод не потребує заздалегідь визначати структуру нейронної мережі, адже структура нейронної мережі динамічно підлаштовується під особливості задач визначення фактичного рівня якості окремих ІТ-послуг. Це дозволяє використовувати розроблений метод при створенні уніфікованого модуля управління ІТ-інфраструктурою, призначеного для підтримки узгодженого рівня якості різноманітних ІТ-послуг.

2. Вперше розроблено метод оцінки поточного рівня якості ІТ-сервісів, який відрізняється використанням апарату непараметричної статистики для оцінювання значень параметрів, що визначають рівень якості складових ІТ-послуг у евклідовому просторі. Це дозволяє поетапно узагальнювати оцінки параметрів ІТ-послуг до рівня ІТ-сервісів з використанням єдиного методу зведення метрик.

3. Вперше запропоновано метод управління рівнем якості ІТ-послуг корпоративної ІТ-інфраструктури, який відрізняється тим, що на основі аналізу обсягів обчислювальних ресурсів, задіяних для надання ІТ-послуг, та за допомогою апарату нечіткої логіки та нейромережових класифікаторів, визначається взаємозв'язок між обсягами задіяних ресурсів та значеннями показників якості ІТ-послуг, після чого підтримується узгоджений рівень якості послуг регулюванням обсягів ресурсів ІТ-інфраструктури, які надаються відповідним застосункам. Це дозволяє створювати засоби управління, які автоматично підтримують якість послуг на узгодженому рівні.

4. Отримала подальший розвиток інформаційна технологія управління ІТ-сервісами, яка відрізняється від існуючих високою точністю оцінки якості мультимедійних сервісів, дозволяє ефективно перерозподіляти ресурси ІТ-інфраструктури для забезпечення більш високої якості надаваних сервісів і легко інтегрується до складу сучасних систем управління ІТ-інфраструктурою, розширюючи їх функціональність і запевнюючи повний цикл управління.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати можуть бути використані при створенні СУІ корпоративного рівня та центрів оброблення даних. Практичне значення мають: методи та математичні моделі оцінки рівня якості сервісів ІТ-інфраструктури; методи управління рівнем якості ІТ-послуг корпоративної ІТ-інфраструктури, методи управління ресурсами і навантаженням ІТ-інфраструктури. Застосування розроблених механізмів управління дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів корпоративної ІТ-інфраструктури та центрів оброблення даних, підтримувати узгоджений рівень якості ІТ-послуг, збільшити обсяг послуг, що надаються користувачам корпоративної ІТ-інфраструктури.

Розроблені моделі та методи, а також інші результати дисертаційної роботи використані при проектуванні і реалізації підсистеми управління інфраструктурою ТОВ «СІТІУС ПРО», при розробленні системи управління ІТ-Інфраструктурою ТОВ «АЙАДМІН».

– розроблена архітектура системи управління ІТ-інфраструктурою з урахуванням значущості бізнес-процесів;

– розроблені методи та моделі можуть бути використано в програмному забезпеченні управління ресурсами, а також навантаженнями на апаратні ресурси ІТ-інфраструктури;

Застосування механізмів ІТ в управлінні ІТ-інфраструктурою дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів інфраструктури, підтримувати узгоджений

рівень якості ІТ-послуг, збільшити обсяг послуг, що надаються користувачам без нарощування обчислювальних ресурсів ІТ-інфраструктури.

Отримані результати можуть бути використані для створення систем автоматичного управління ресурсами ІТ-інфраструктури. Вивчено природу якості мультимедійних послуг та визначено основні параметри, що впливають на якість таких послуг, розроблено методи автоматичного визначення значень цих параметрів.

На основі моделей та методів розроблено методичне забезпечення, яке використовується в навчальному процесі кафедри автоматики та управління в технічних системах КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота виконана автором самостійно на основі особистих розробок. При використанні результатів досліджень інших авторів використовувалися посилання на відповідні літературні джерела. В роботах, опублікованих в співавторстві, автору належить: [1] – запропоновано метод оцінки якості елементів ІТ-інфраструктури на базі теорії нечіткої логіки; [2] – запропоновано використовувати у агентах методи нечіткої логіки; [3] – запропоновано метод використання зоноїдів для оцінки рівня якості функціонування; [4] – запропоновано поєднати нейромережевий класифікатор та нечіткий вивід для оцінки якості функціонування елементів інформаційно-телекомунікаційних систем; [5] – запропонована функціональна структура системи управління інформаційно-телекомунікаційною системою корпоративної АСУ; [6] – розроблена система правил для оцінки якості функціонування елементів інформаційно-телекомунікаційної системи; [7] – запропонована функціональна структура системи управління; [8] – розроблена система правил для оцінки якості функціонування елементів інформаційно-телекомунікаційної системи та запропоновано використовувати нейронні мережі в поєднанні з нечіткою логікою для побудови класифікаторів; [9] – запропонована архітектура системи та алгоритми оцінки якості функціонування елементів ІТ-інфраструктури та спільно з іншими авторами розроблений алгоритм структурного навчання нейронних мереж; [10] – запропоновано структуру нейромережевого класифікатору; [11] – запропонована функціональна структура системи управління ресурсами інформаційно-телекомунікаційної системи; [12] – запропоновано структуру нейромережевого класифікатору; [13] – запропоновано структуру нейромережевого класифікатору та реалізовано архітектуру модулю оцінки якості медійного сервісу; [14] – запропоновано алгоритм перерозподілу ресурсів ІТ-інфраструктури; [15] – запропоновано архітектуру застосунку, що дозволяє використовувати викладені у роботі алгоритми для декомпозиції сервісів; [16] – запропоновано алгоритм перерозподілу ресурсів ІТ-інфраструктури та архітектуру застосунку, що дозволило використовувати викладені у роботі алгоритми балансування навантаження; [17] – запропоновано архітектуру застосунку, що дозволяє керувати ІТ-сервісами; [18] – запропоновано систему правил для управління рівнем якості ІТ-сервісів.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі автоматики та управління в технічних системах КПІ ім. Ігоря Сікорського. Науковий керівник д.т.н., проф. Ролік О.І.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на 12 науково-технічних конференціях: Інформаційні технології – інструмент підвищення конкурентоздатності підприємств (м. Київ 9–10 груд. 2009) II-а Міжнар. наук.-техн. конф. «Обчислювальний інтелект (м. Черкаси, 14-18 травня 2013 р.); the International Congress on Control and Information Processing (7–8 December,

Cracow, Poland, 2013); The 3th international scientific-practical conference “Physical and technological problems of radio engineering devices, telecommunication, nano- and microelectronics” (Chernivtsi city, Ukraine, October 24–26, 2013); 2014 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom), (Odesa, 2014); III-я Міжнародна наук.-практ. конф. «Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи)» (12-15 травня 2015 р. Київ-Черкаси); the Congress on Information Technology, Computational and Experimental Physics 2013 (CITCEP'15) (18–20 December, Cracow, Poland 2015); ICACIT-2015: 3-я Міжнар. конф. з автоматичного управління та інформаційних технологій (11-13 грудня 2015 р. м. Київ); the Congress on Information Technology, Computational and Experimental Physics (CITCEP'15) (Cracow, Poland, 2015); the International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo) (Kyiv, Ukraine, 2016); The Eighth International Conference on Cloud Computing, GRIDs, and Virtualization (February 19-23, 2017 Athens, Greece); International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 (31 January 2019).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 18 наукових праць, у тому числі 6 статей у наукових фахових виданнях (з них 2 статті у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до ОЕСР та Європейського Союзу, 1 стаття в закордонних виданнях, що входять до Scopus та 3 статті у фахових виданнях), 12 тез доповідей і матеріалів конференцій (з них 3, що індексуються Scopus).

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел (53 найменувань) на 126 сторінках. Загальний обсяг роботи – 150 сторінок, основний текст роботи викладено на 115 сторінках. Робота містить 39 рисунків та 18 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і задачі досліджень, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, наведено дані про впровадження результатів роботи, публікації і особистий внесок автора.

Перший розділ присвячено огляду та аналізу проблем керування якістю ІТ-послуг та постановці задач дослідження. Введено основні поняття та визначення ІТ-інфраструктури та ІТ-послуг. Проаналізована задача аналізу якості ІТ-послуг, визначено рівні аналізу та критерії якості ІТ-послуг. Здійснено аналіз типів віртуалізації та їх використання у ІТ-інфраструктурах. Проаналізована задача визначення рівня задоволеності користувача якістю послуг (QoE), що надаються, яка зведена до задачі визначення залежності якості надаваних послуг від значень окремих параметрів якості ІТ-послуг. Досліджена задача створення системи автоматичного керування рівнем якості ІТ-послуг. Управління якістю послуг сформульовано як задачу підтримки узгодженого рівня якості шляхом перерозподілу ресурсів між застосуваннями, які підтримують ці послуги.

Другий розділ присвячено розробленню моделей і алгоритмів оцінки рівня якості ІТ-послуг та управління ІТ-інфраструктурою для підтримання якості послуг на узгодженому рівні.

Основним критерієм оцінки якості надання ІТ-послуг обрано рівень задоволеності користувачів якістю ІТ-послуг, а основними механізмами управління ІТ-інфраструктурою обрано: зміна обсягів обчислювальних та комунікаційних ресурсів

з множини ресурсів ІТ-інфраструктури \mathfrak{R} , що виділяються для надання послуг; перерозподіл запитів користувачів між гомогенними серверами.

ІТ-інфраструктура надає множину послуг $E = \{E_o \mid o = \overline{1, \dots, O}\}$, де O – кількість послуг. На множині серверів $\mathfrak{R}_H = \{H_\eta \mid \eta = \overline{1, \dots, H}\}$, де H – кількість серверів, розгорнуто множину гіпервізорів \mathfrak{R}_H , $\mathfrak{R}_H \in \mathfrak{R}$. Кожен гіпервізор H_η , $\eta = \overline{1, \dots, H}$ створює множину віртуальних машин V_η , а кожна віртуальна машина надає ІТ-послугу з множини E : $V_\eta = \{V_{\eta\varpi_\eta o} \mid \varpi_\eta = \overline{1, \dots, \varsigma_\eta}, o \in [1, O]\}$, де ς_η – кількість віртуальних машин, роботу яких забезпечує гіпервізор H_η .

Введено показник загальної задоволеності користувача якістю ІТ-послуг Ω , що визначається трьома показниками задоволеності:

$$F: (\mathfrak{C}_{CSI}, \mathfrak{C}_{CRM}, \mathfrak{C}_{Serv}) \rightarrow \Omega, \quad (1)$$

де \mathfrak{C}_{CSI} – індекс задоволеності користувачів; \mathfrak{C}_{CRM} – рівень задоволеності користувача системою CRM управління відносинами з користувачами; \mathfrak{C}_{Serv} – інтегральний показник якості ІТ-послуг; F – функціонал залежності задоволеності користувача якістю послуг Ω від значень показників задоволеності $\mathfrak{C}_{CSI}, \mathfrak{C}_{CRM}, \mathfrak{C}_{Serv}$.

Визначено, що Ω залежить від обсягів ресурсів з множини \mathfrak{R} , виділених для надання послуг та зовнішніх впливів \mathfrak{Z} на ІТ-інфраструктуру – $q: (\mathfrak{R}, \mathfrak{Z}) \rightarrow \Omega$, де q – функція залежності.

Введено поняття інтегрального показника якості ІТ-послуг \mathfrak{C}_{Serv} , який складається з загального рівня задоволеності користувача усіма послугами – $\mathcal{F}: (\mathfrak{C}_1, \mathfrak{C}_2, \dots, \mathfrak{C}_E) \rightarrow \mathfrak{C}_{Serv}$, де \mathfrak{C}_o – рівень задоволеності користувача якістю o -ю послугою, що належить E , а \mathcal{F} – функціонал залежності рівня задоволеності користувача від комплексної якості всіх послуг, що надаються йому ІТ-інфраструктурою.

Враховуючи те, що зміною кількості обсягів ресурсів з множини \mathfrak{R} не можна впливати на значення показників \mathfrak{C}_{CSI} та \mathfrak{C}_{CRM} , відображення (1) зведено до

$$\Omega = \mathfrak{C}_{Serv} = \mathcal{F}(\mathfrak{C}_1, \mathfrak{C}_2, \dots, \mathfrak{C}_E). \quad (2)$$

Множину зовнішніх факторів, що впливають на роботу віртуальної машини $V_{\eta\varpi_\eta o}$, позначено як $\mathfrak{Z}_{\eta\varpi_\eta o}$, $\eta = \overline{1, \dots, H}$, $\varpi_\eta = \overline{1, \dots, \varsigma_\eta}$, $o \in [1, O]$, а зовнішні впливи на ІТ-інфраструктуру – як \mathfrak{Z}_o :

$$\begin{cases} \mathfrak{Z} = \{\mathfrak{Z}_{\eta\varpi_\eta o} \mid \varpi_\eta = \overline{1, \dots, \varsigma_\eta}, o \in [1, O]\}; \\ \mathfrak{Z} = \{\mathfrak{Z}_o \mid o = \overline{1, \dots, O}\}. \end{cases} \quad (3)$$

Для вирішення задачі управління рівнем якості послуг визначено залежність (4) для кожної ІТ-послуги:

$$q_o: (\mathfrak{R}_o, \mathfrak{Z}_o) \rightarrow \mathfrak{C}_o, \quad (4)$$

де $\mathfrak{R}_o \in \mathfrak{R}$ – ресурси ІТ-інфраструктури, що забезпечують роботу o -ї послуги, $\mathfrak{Z}_o \in \mathfrak{Z}$ – зовнішні впливи, що впливають на якість цієї послуги, а \mathfrak{C}_o – значення показника \mathfrak{C}_{serv} для цієї послуги, для всіх $o = \overline{1, \dots, O}$.

Кожну віртуальну машину $V_{\eta\pi_o}$, що надає o -ту послугу, характеризує множина параметрів $P_o = \{p_{op} \mid p = \overline{1, \dots, P_o}\}$ та їх відповідні значення з множини $P'_{\eta\pi_o} = \{p'_{\eta\pi_o p} \mid p = \overline{1, \dots, P_o}\}$, де P_o – кількість параметрів, що характеризують віртуальну машину, що надає o -ту послугу. Задача оцінювання якості ІТ-послуги зведена до задачі пошуку функції залежності:

$$\Theta_o : (p'_1, p'_2, \dots, p'_{|P_o|}) \rightarrow \mathfrak{C}_o, \quad (5)$$

де $p'_1, p'_2, \dots, p'_{|P_o|}$ – відповідні значення параметрів множини P_o .

Задача (5) для o -ї ІТ-послуги вирішується з використанням нейромережевого класифікатора, на вході якого $|P_o|$ вхідних нейронів, по одному на кожен параметр, а на виході – значення \mathfrak{C}_o . Для навчання штучної нейронної мережі використані набори даних, отриманих експериментальним шляхом. Зазначені набори даних містять значення параметрів $p'_1, p'_2, \dots, p'_{|P_o|}$ та відповідне значення рівня якості послуги \mathfrak{C}_o .

Для прискорення процесу визначення структури нейромережевого класифікатора та зменшення похибки запропоновано алгоритм структурної підготовки мережі, що дозволяє отримати загальну структуру нейронної мережі, визначити кількість нейронів у шарах нейронної мережі та видалити зв'язки між нейронами (синапсами), вплив яких є відносно незначним.

Для сукупності вузлів нейронної мережі \overline{Node} , множини шарів \overline{Layer} , та набору синапсів \overline{Syn} , $(\forall Syn_{AB} \in \overline{Syn}) \exists \langle Node_A, Node_B \rangle$, де $Node_A \in \overline{Node}$ та $Node_B \in \overline{Node}$, визначено основні структурні операції над нейронними мережами: операція AF_{MOD} – зміна функції активації нейрону; операція $Layer_{ADD}$ – створення нового шару; робота $Layer_{DEL}$ – видалення шару нейронної мережі; Syn_{ADD} – додавання синапсу між двома випадково вибраними незв'язаними вузлами або мережами нейронів: $Syn_{ADD} : \overline{Syn} \rightarrow \overline{Syn}$, $Syn_{ADD}(\overline{Syn}, A, B) = \overline{Syn} \cup \langle Node_A, Node_B \rangle$, де $Node_A \in \overline{Node}$ та $Node_B \in \overline{Node}$.

Операція Syn_{DEL} видаляє синапс між двома випадковими незв'язаними вузлами або мережами нейронів. Синапс видаляється лише між сусідніми шарами або в межах однієї складної ноди: $Syn_{DEL} : \overline{Syn} \rightarrow \overline{Syn}$, $Syn_{DEL}(\overline{Syn}, A, B) = \overline{Syn} \setminus \langle Node_A, Node_B \rangle$.

Операція Syn_{MOVE} переміщує синапс між двома випадковим чином виділеними незалежними вузлами або мережами нейронів: $Syn_{MOVE} : \overline{Syn} \rightarrow \overline{Syn}$, $Syn_{MOVE}(\overline{Syn}, A, B, C) = \overline{Syn} \setminus \langle Node_A, Node_B \rangle \cup \langle Node_A, Node_C \rangle$.

Операція

$Node_{SER} :$

$Node_{SER} : \overline{Syn} \rightarrow \overline{Syn},$

$Node_{SER}(\overline{Syn}, A, B, C) = \overline{Syn} \setminus \langle Node_A, Node_B \rangle \cup \langle Node_A, Node_C \rangle \cup \langle Node_C, Node_B \rangle$, додає нову ноду $Node_C$ послідовно ноді $Node_B$.

Операція розпаралелювання $Node_{PAR}$ додає новий нейрон паралельно до вже існуючого:

$Node_{PAR} : \overline{Syn} \rightarrow \overline{Syn},$

$(\forall C : Syn_{CA} \in \overline{Syn}) \exists Syn_{CB} : Node_{PAR}(\overline{Syn}, A, B) = \overline{Syn} \cup \langle Node_C, Node_B \rangle$, де $Node_C$ – вузли з яких виходять синапси до вузла $Node_A$, $Node_B$ – новий вузол-копія вузла $Node_A$, що є паралельним вузлу $Node_A$.

Операція $Node_{ADD}$ додає новий вузол, створюючи при цьому випадкові синапси до та від нового вузла. Операція видалення вузла $Node_{DEL}$ видаляє вузол та всі синапси, спряжені з цим вузлом.

Сукупність значень вихідних нейронів нейронної мережі позначимо через $F_i = \{f_{ij}\}$, де i – номер шару, а j – кількість нейронів у шарі. Загальна кількість шарів нейронної мережі дорівнює K .

Для навчання визначеної мережі розроблено модифікований алгоритм зворотного поширення помилки:

1. Для вхідного шару встановлюються значення кожного елемента відповідно до вхідного вектора. Встановлене значення виходу кожного елемента дорівнює входу – $F_0 = X_1$.

2. Для першого шару нейронів обчислюється загальний вхід та вихід

$$u_j^1 = w_{j0}^1 + \sum_{i=1}^N f_i^0 w_{ji}^1, \quad (6)$$

де $f_j^1 = \frac{1}{1 + e^{-u_j^1}}$, $j = 1, 2, \dots, N_1$ – номери нейронів першого прихованого шару, w_{ij}^l – i -й ваговий коефіцієнт j -го нейрона l -шару нейронної мережі, f_i^0 – значення i -го нейрону у вхідному шарі.

3. Перший крок повторюється для всіх прихованих шарів нейронної мережі, включаючи вихідний шар нейронів, але формула (6) при цьому набуває вигляду:

$$u_j^k = w_{j0}^k + \sum_{i=1}^{U_k} f_i^{c-1} w_{ji}^c, \quad (7)$$

де $f_j^c = \frac{1}{1 + e^{-u_j^c}}$, $c = 2, \dots, K$.

4. Порівнюються значення векторів Y_0 і F_K : якщо різниця між векторною моделлю Y_0 і реальним виходом нейронної мережі F_K знаходяться у прийнятному діапазоні, то виконується крок 5, інакше виконується крок 6.

5. На вхід нейронної мережі подається наступне значення навчальної вибірки і виконується крок 2. Якщо на вхід подається останній елемент навчальної вибірки, то на вхід нейромережі подається перший елемент навчальної вибірки.

6. Для кожного нейрону вихідного шару обчислюється помилка. Оскільки нейронна мережа використовує сигмоїдну функцію активації, помилка дорівнює:

$$\delta_i = \begin{cases} f_i^1(1-f_i^1)(y_i - f_i^1), & \text{при } f_i < f_i^1 \\ f_i(1-f_i)(y_i - f_i), & \text{при } f_i^2 < f_i < f_i^1, \\ f_i^2(1-f_i^2)(y_i - f_i^2), & \text{при } f_i > f_i^2 \end{cases} \quad (8)$$

де f_i – результуюче значення j -го елементу вихідного шару; f_i^2, f_i^1 – локальні крайні точки для очікуваного значення y_i в діапазоні $[0,1]$.

7. Обчислюється коефіцієнт мережевих мутацій: $M_{NET} = \frac{1}{\delta(t+1)}$.

Залежно від значень коефіцієнтів, модифікація структури нейронної мережі здійснюється за допомогою основних структурних операцій (табл. 1). Тенденція оціночного коефіцієнту вказує на динаміку навчання. Якщо в кожну навчальну епоху вона зростає, то немає сенсу щось змінювати у структурі мережі. Якщо тенденція падає, структура мережі змінюється.

Таблиця 1 Використання базових структурних операцій

Значення M_{NET}	Тенденція M_{NET}	Операція, яку треба виконати
>1	Зростає	Нічого не робити
>1	Спадає	L_{ADD}
>100	Зростає	Нічого не робити
>100	Спадає	$Node_{SER}, Node_{PAR}, Node_{ADD}$
>500	Зростає	Нічого не робити
>500	Спадає	$Syn_{ADD}, Syn_{MOVE}, AF_{MOD}$

8. Для визначення складових передостаннього шару помилка кожного нейрона обчислюється за формулою:

$$\delta_i^{K-1} = f_i^{K-1}(1-f_i^{K-1}) \sum_{j=1}^{C_K} \delta_j^K w_{ij}^{K-1}, \quad (9)$$

де δ_j^K – помилка j -го елементу K -го шару, w_{ij}^{K-1} – вага зв'язку між i -м і j -го елементами $K-1$ -го шару.

9. Для всіх інших прихованих шарів помилка обчислюється за формулою (8).

10. Для всіх шарів вагові коефіцієнти кожного нейрона оновлюються. елемента K -ий шар, f_i^{K-1} – значення i -го елемента $K-1$ -го шару.

$$\delta_i^{K-1} = f_i^{K-1}(1-f_i^{K-1}) \sum_{j=1}^{C_K} \delta_j^K w_{ij}^{K-1}, \quad (10)$$

де η – швидкість тренування, α – інерція, або вплив попередніх змін, як правило, $\alpha < 1$, t – кількість ітерацій. Потім встановлюється нове значення вагових коефіцієнтів, рівне:

$$V_{a,b} = \frac{\sum_{j=1}^{R_{a,b}} V_{a,b,j}}{V_a}, \quad (11)$$

11. Для вхідних векторів встановлюється значення кожного нейрона відповідно до елементів навчальної вибірки і алгоритм переходить до кроку 2. Якщо останній

вектор навчальної вибірки вже подано на вхід нейронної мережі, то повторно оброблюється перший.

Для вирішення задачі визначення рівня якості ІТ-послуг на інтервалі часу T обрано нотацію зоноїда. Оцінка \mathfrak{C}_o для обраної o -ї ІТ-послуги, що належить множині E , і параметри якості $P'_o = \{p'_1, p'_2, \dots, p'_{|P_o|}\}$ для цієї послуги описуються лінгвістичними значеннями з множин $\{l_{i,\omega}^Q\}$, $i = \overline{1, K}$, $\omega = \{A, B, C\}$ і $\{l_{b,i,\gamma}^q\}$, $\gamma = \{A, B, C\}$. Кожному $l_{i,\omega}^Q$, $\omega = \{A, B, C\}$ і $\{l_{b,i,\gamma}^q\}$, $\gamma = \{A, B, C\}$ поставлено у відповідність нечіткі множини $\Psi_{i,\omega}^Q$ і $\Psi_{b,i,\gamma}^q$. Для вирішення поставленої задачі значення параметрів з множини P_o замірялися M раз, в результаті чого було сформовано M множин вигляду $P_{o,m} = \{p_{o,1,m}, p_{o,2,m}, \dots, p_{o,|P_o|,m}\}$, для всіх $m = \overline{1, M}$.

Для відображення стану послуги використано $|P_o|$ -вимірний простір, де кожній осі ставиться у відповідність окремий параметр множини P_o , а кожному заміряному значенню параметру відповідає точка простору. Запропоновано для емпіричного розподілу на просторі визначати зоноїд:

$$Z(\alpha) = \begin{cases} \text{conv}\{U_1, U_2, \dots, U_M\}, \text{ для } \alpha \in]0, \frac{B}{M}] \\ \text{conv}\left\{\frac{1}{\alpha \cdot M} \sum_{\beta=1}^B U_{\hat{P}_\beta} + \left(1 - \frac{1}{\alpha \cdot M}\right) U_{\hat{P}_{B+1}}\right\}, \text{ для } \alpha \in \left[\frac{B}{|P_o|}, \frac{B+1}{|P_o|}\right] \end{cases} \quad (12)$$

де $B \in \{1, 2, \dots, M-1\}$, $\{\hat{P}_1, \hat{P}_2, \dots, \hat{P}_{B+1}\} \subset \{1, 2, \dots, M\}$, а $\{U_1, U_2, \dots, U_M\}$ – точки, на базі яких будувався зоноїд, M – кількість таких точок, α – глибина зоноїда. Отриманий регіон виділив $R_{|P_o|}$ область, в якій найбільша вірогідність перебування точок, що характеризують стан ІТ-послуги, а глибина регіону пропорційна ризику виходу таких точок за межі $Z_a(\alpha)$.

Для визначення ступеню належності $l_{b,i,\gamma}^q$ значення показника якості $q_{b,i}, \forall b, i$ віртуальної машини до нечітких множин $\Psi_{b,i,\gamma}^q$ проведено гіперплощини, що перпендикулярні координатним осям і проходять через точки кордонів таких діапазонів. Гіперплощини розбивають отриманий зоноїд на опуклі замкнуті $|P_o|$ -вимірні частки. Кожній частці відповідає певне висловлювання з нечіткою бази знань, на підставі яких і визначається рівень якості ІТ-послуги.

Для всіх $b = 1, B_a$ розраховано суму відносних $|P_o|$ -вимірних об'ємів часток зоноїда, що належать підпросторам, що відповідають заданим нечітким висловлюванням:

$$V_{a,b} = \frac{\sum_{j=1}^{R_{a,b}} V_{a,b,j}}{V_a}, \quad (13)$$

де $R_{a,b}$ – кількість неповторюваних нечітких висловлювань виду $\bigcap l_{b,i,\gamma}^q$ правил бази знань, вихідний величиною яких є лінгвістичних значень, V_{abj} – це $|P_o|$ -вимірний об'єм

випуклої замкненої частки зоноїда, що відповідає висловлюванню з бази правил, а $V_a - |P_o|$ -вимірний об'єм $Z_a(\alpha)$.

Для визначення \mathfrak{C}_o застосовано центроїдний метод:

$$\mathfrak{C}_o = \frac{\int_{x=0}^1 x \cdot \text{agg} \left(\text{imp} \left(L_{i,\omega}^Q, \mu_{i,\omega}(x) \right) \right) dx}{\int_{x=0}^1 \text{agg} \left(\text{imp} \left(L_{i,\omega}^Q, \mu_{i,\omega}(x) \right) \right) dx}, \quad (14)$$

де $\mu_{i,\omega}$ – функція належності показника якості нечіткої множини $\Psi_{i,\omega}^Q$.

Третій розділ присвячено розробленню моделей управління ресурсами ІТ-інфраструктури.

На рисунку 1 схематично зображено модель управління якістю надаваних ІТ-послуг. Такий підхід дозволив підтримувати сервіси множини E на узгоджених рівнях якості $\{\mathfrak{C}_o^* \mid o = \overline{1, \dots, O}\}$, та раціонально використовувати ресурси ІТ-інфраструктури \mathfrak{R} .



Рис. 1. – Узагальнена структура системи управління якістю ІТ-послуг

Метод враховує множину збуджуючих впливів $Dist$, які впливають на ресурси \mathfrak{R} та послуги множини E , множину запитів користувачів Req та дані моніторингу функціонування елементів ІТ-інфраструктури, що надає ІТ-послуги.

Для підтримання якості ІТ-послуг на узгодженому рівні, при задіянні мінімальної кількості ресурсів \mathfrak{R} , розроблено метод управління рівнем якості ІТ-послуг, що генерує множину керуючих впливів $U = \{U_{o\rho} \mid \rho \in [1, \dots, P_o], o \in [1, \dots, O]\}$, де $U_{o\rho}$ – можливий вплив на ρ -ий параметр o -ї послуги.

Визначення керуючих впливів здійснюється на основі аналізу значень параметрів P'_o , розрахованих оцінок якості $\{\mathfrak{C}_o \mid o = \overline{1, \dots, O}\}$ та значень узгоджених рівнів якості послуг $\{\mathfrak{C}_o^* \mid o = \overline{1, \dots, O}\}$. Задачею системи управління є забезпечення умови:

$$|\mathfrak{C}_o - \mathfrak{C}_o^*| \rightarrow 0, \quad (15)$$

для всіх $o = \overline{1, \dots, O}$.

Для цього у $|P_o|$ -вимірному просторі параметрів o -ї послуги виділяється зона, яка обмежена значеннями параметрів, якими має змогу керувати система управління. Дана зона обмежується значеннями параметрів, що відповідають заявленій якості o -го сервісу. Вирішення поставленої задачі зводиться до знаходження точки у просторі, яка одночасно належить даній зоні та гіперповерхні, що формується q_o .

Для знаходження залежності p_o визначається множина фіксованих точок у гіперпросторі параметрів P_o :

$$P_o = \{P_{opv} \mid \rho = \overline{1 \dots P_o}, v = \overline{1 \dots V_o}\}, \quad (16)$$

де V_o – кількість точок, що обрано для o -ї послуги.

Розраховується значення:

$$\mathfrak{C}_o^* = \{q_o(P_{opv}) \mid \rho = \overline{1 \dots P_o}, v = \overline{1 \dots V_o}\}. \quad (17)$$

Для кожного елементу множини впливів U вираховується параметр виконавчого скрипту як різниця між поточним значенням параметру та значенням параметру у точці множини \hat{P}'_o , що задовольняє умові (15) та належить множині P'_o . Це дало змогу визначати об'єми ресурсів, які треба додатково задіяти для забезпечення узгодженого рівня якості ІТ-послуги.

Для визначення необхідності створення додаткових віртуальних серверів у множині гомогенних віртуальних машин V_o , що надають послугу, визначено момент часу, коли виділених ресурсів не достатньо для надання послуги на узгодженому рівні якості і з'являється необхідність створювати новий екземпляр віртуальної машини.

Розроблено метод, що передбачає момент часу t_{new} , коли необхідно запустити процес створення нової віртуальної машини. Для цього визначено середню кількість запитів користувача та відкритих сеансів, що може обробити кожна машина множини V_o без втрати якості послуги, що вона надає. Залежність $p_{o\hat{w}}$, вираховується за умови, що залежність p_o відома:

$$p_{o\hat{w}} : \mathfrak{Z}_{o\hat{w}} \rightarrow \mathfrak{R}_{o\hat{w}} \forall \mathfrak{Z}_{o\hat{w}} \in \mathfrak{Z}_o, \quad (18)$$

де $\mathfrak{R}_{o\hat{w}}$ – ресурси ІТ-інфраструктури, що задіяні для роботи \hat{w} -ї віртуальної машини $V_{o\hat{w}}$, ς_o – кількість задіяних віртуальних машин для надання o -ї послуги I_o – кількість користувачів, що користуються даною послугою, \mathfrak{Z}_o – множина запитів користувачів на віртуальні сервери з множини V_o .

Виходячи з (5) та (18), можемо записати

$$p_o : (\mathfrak{C}_o(t), I_o(t)) \rightarrow \varsigma_o(t), \quad (19)$$

де $\mathfrak{C}_o(t)$ – якість o -ї послуги у момент часу t , $I_o(t)$ – кількість активних користувачів даною послугою на момент часу t , $\varsigma_o(t)$ – кількість віртуальних серверів, що обслуговують o -у послугу на момент часу t .

Враховуючи $p_{o\hat{w}}$, прогнозуємо час, коли необхідно почати створення нового екземпляру віртуальної машини, щоб виконувалися умови:

$$\begin{cases} |\mathfrak{C}_o(t) - \mathfrak{C}_o^*(t)| \rightarrow 0, \\ |\mathfrak{C}_o(t + t_{new}) - \mathfrak{C}_o^*(t_{new})| \rightarrow 0. \end{cases} \quad (20)$$

Розроблений метод управління ресурсами сервера приймає рішення про те на скільки потрібно підвищити або понизити обсяги ресурсів, що надаються ІТ-послугі, використовуючи апарат нечіткої логіки. На вхід фазифікатору подаються значення ресурсів та кількість користувачів $I_o(t)$, які в момент часу t користуються o -ю послугою. У фазифікаторі за допомогою функцій належності (10) визначається ступінь належності значень ресурсів до класів Z'_n , Z''_n або Z'''_n та кількості користувачів $I_o(t)$ до класів Z'_u , Z''_u або Z'''_u , при цьому

$$\forall Z_i \exists \mu_{Z_i} \mid \mu_{Z_i} : \mu_i(R_n^-) = Z'_i. \quad (21)$$

Розраховані значення Z'_n , Z''_n або Z'''_n та Z'_u , Z''_u або Z'''_u направляються до бази правил, що сформована для кожного ресурсу.

Виходячи з величини задіяних для надання послуги ресурсів ІТ-інфраструктури і враховуючи вирази (6)-(8), розраховуються значення $L_{b,i,\gamma}^q$, $b=\overline{1,D_i}$, $\gamma \in [1, \Gamma_{b,i}]$. Вони підставляються у нечіткі правила (9) і, таким чином, визначається ступінь належності $L_{i,\omega}^Q$, $\omega=\overline{1,\Omega_i}$. Для знаходження числового значення рівня якості ІТ-послуги для кожної віртуальної машини визначається центр мас фігури (10), яка становить результат агрегації функції належності $\mu_{i,\omega}$, обмеженої згори значенням $L_{i,\omega}^Q$, що визначається за формулою (11).

Для визначення керуючого впливу використовуються правила:

1. Якщо для всіх віртуальних машин $V_{j,i}$, $j=\overline{1,M_i}$, $i=\overline{1,K}$ отримане значення рівня якості ІТ-послуги \mathfrak{E}_o нижче узгодженого, то приймається рішення збільшити споживання ресурсів серверів – кількість віртуальних машин, що надають o -у послугу, збільшується на 1.

2. Якщо для всіх віртуальних машин $V_{j,i}$, $j=\overline{1,M_i}$, $i=\overline{1,K}$ отримане значення якості послуги \mathfrak{E}_o перевищує узгоджений рівень, то приймається рішення знизити споживання ресурсів серверів – кількість віртуальних машин, що надають o -у послугу, зменшується на 1.

3. Якщо отримане значення рівня якості послуги \mathfrak{E}_o знаходиться в межах норми, то запити користувачів перерозподіляються між віртуальними машинами $V_{j,i}$, $j=\overline{1,M_i}$, $i=\overline{1,K}$ пропорційно розрахованим рівням якості послуги.

В четвертому розділі розроблено інформаційну технологію управління рівнем якості ІТ-послуг та перерозподілу ресурсів ІТ-інфраструктури, що надає ці послуги. Розроблені моделі та методи покладені в основу реалізації інформаційної технології управління рівнем якості ІТ-послуг та ресурсами ІТ-інфраструктури. Розроблену технологію встановлено на хостингу та виконані експериментальні дослідження, що підтверджують ефективність її використання.

При проектуванні архітектури інструментрументального комплексу інформаційної технології обрано компонентний підхід з розбиттям на шари. Розбиття на шари забезпечує групування пов'язаної функціональності інструментарію в різних шарах, що вибудовуються вертикально, поверх один одного. Функціональність кожного шару об'єднана спільною роллю або відповідальністю. Шари слабо пов'язані

і між ними здійснюється явний обмін даними. Таке розбиття інструментального комплексу забезпечує гнучкість створюваних на основі інформаційної технології систем управління IT-інфраструктурою, а також зручність і простоту їх обслуговування.

Загальна архітектура інструментальних засобів інформаційної технології наведена на рис.2

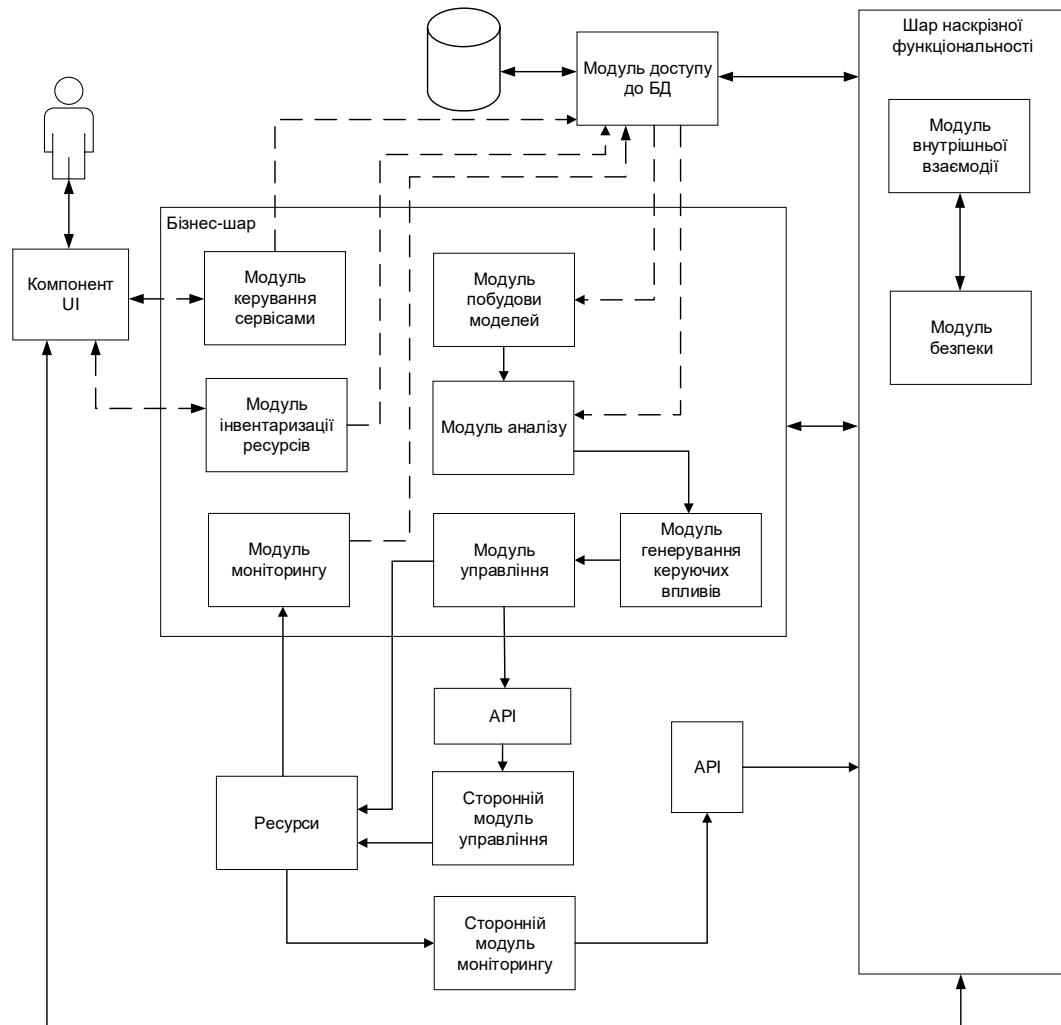


Рис. 2. – Загальна архітектура інструментальних засобів

Розроблена інформаційна технологія легко інтегрується до складу сучасних систем управління IT-інфраструктурами, які набувають при цьому таких властивостей: придатність для повторного використання в різних сценаріях і робота з різними сервісами; можливість заміщення, яка дозволяє оновити окремий модуль без оновлення всієї системи; незалежність від контексту – компоненти проектуються для роботи з різними сервісами; інкапсуляція – компоненти надають інтерфейси, що дозволяють викликає стороні використовувати їх функціональність, не розкриваючи при цьому деталі внутрішніх процесів або внутрішні змінні або стан; внутрішня незалежність – компоненти проектуються з мінімальними залежностями від інших компонентів. Це дозволило досягти того, що компоненти системи можуть бути розгорнуті у різних середовищах без впливу на інші компоненти або системи.

Обраний архітектурний стиль забезпечив простоту: розгортання – за рахунок заміни окремих компонент без впливу на інші компоненти; розроблення – за рахунок

можливості використання різних компонентів та власне системи – за рахунок використання контейнера компонентів і його сервісів.

Розроблений модуль доступу до бази даних забезпечує централізацію загальної функціональності доступу до даних, що сприяє спрощенню налаштування системи, а його компоненти первинної обробки даних забезпечують контроль форматів даних, що надходять до бази даних.

Розроблений бізнес-шар включає: модулі аналізу стану IT-інфраструктури; компоненти, що забезпечують моніторинг поточного стану IT-інфраструктури; компоненти, що дозволяють впливати на ресурси IT-інфраструктури. При проектуванні використовувалися спеціальні компоненти інтерфейсу користувача, які забезпечили формування візуального представлення, відображення і взаємодії з користувачем. Застосування в даному шарі спеціальних сутностей представлення інформації дозволило представити бізнес-логіку і дані у зручній для використання формі.

Шар наскрізної функціональності забезпечує взаємодію компонентів розробленої системи, яку не можна віднести до конкретного шару або рівня. Цей шар також гарантує безпечну передачу даних між шарами та оброблення виняткових ситуацій, що підвищило стабільність розробленої системи.

Для проведення експериментів обґрунтовано вибір системи Linux дистрибутиву Debian7, на якій налаштована KVM-віртуалізація. На вибраній ОС налаштовано віртуальний сервер з операційною системою Linux. Для експериментального дослідження функціональності розробленого застосунку обрано веб-сервіс Apache2 та програмне забезпечення Atlassian Jira, написане на мові Java. Моніторинг здійснюється за допомогою програмного забезпечення Zabbix, а за генератор трафіку вибрано Apache Jmeter.

Під час проведення експериментів здійснювалося керування такими ресурсами як кількість ядер, процесорний час, кількість оперативної пам'яті та пропускна здатність каналу зв'язку. Процесорний час, який надається для виконання обраного процесу регулювався з командного рядка системи, на якій встановлено сервіс. Кількість оперативної пам'яті, яку використовувала ВМ, регулювалися з командного рядка гіпервізора.

Для проведення експериментів була розроблена систему управління гіпервізором, яка забезпечила часу відгуку веб-сервісу в межах 3 секунд. Результати виконаних експериментів наведено на рисунку 3.

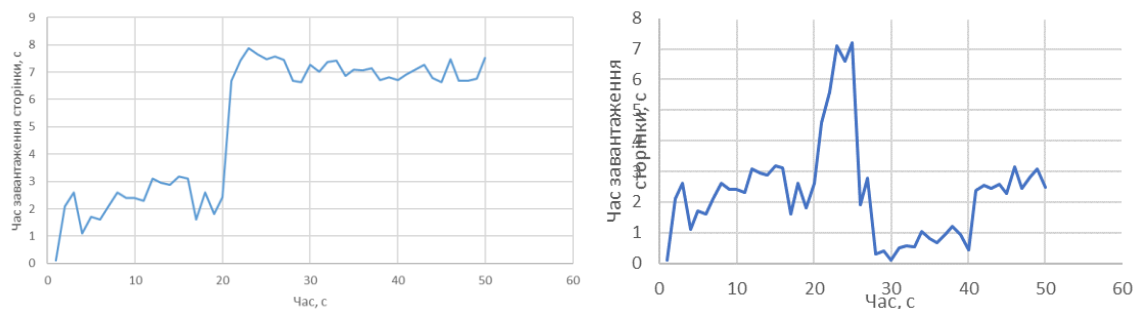


Рис. 3. – Час завантаження веб-сторінки без та з керуючими впливами

На 20-ій секунді експерименту було збільшено кількість користувачів з 40 до 70, що спричинило збільшення часу завантаження веб-сторінки. Система управління після збільшення часу відгуку прийняла рішення про збільшення кількості

віртуальних машин, що надавали відповідну послугу. Це дозволило балансувальнику навантаження розподілити запити користувачів між декількома віртуальними машинами та зменшити час відгуку до 3 секунд.

Розроблену систему інтегровано у системи управління IT-інфраструктурами ТОВ «СІТІУС ПРО», ТОВ «АЙАДМІН», кафедри автоматики та управління в технічних системах НТУУ «КПІ», що дозволило скоротити в середньому на 15-20% час на проектування і реалізацію систем управління, а також скоротити витрати на експлуатацію серверного парку на 10-15% з одночасним збільшенням ефективності його використання. Результати досліджень впроваджено у навчальний процес кафедри автоматики і управління в технічних системах факультету інформатики та обчислювальної техніки КПІ ім. Ігоря Сікорського. Починаючи з 2018-2019 навчального року вони використовуються в матеріалах лекцій навчального курсу «Компоненти програмної інженерії».

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу розроблення комплексу математичних моделей, методів і інформаційної технології, аналізу та управління рівнем якості IT-сервісів у IT-інфраструктурах:

1. На основі аналізу проблем управління якістю IT-послуг у корпоративній IT-інфраструктурі встановлено, що для підвищення конкурентоспроможності та ефективного виконання бізнес-процесів постачальників IT-послуг необхідно підтримувати якість IT-послуг на узгодженому рівні за умов раціонального використання ресурсів IT-інфраструктури.

2. Визначено, що рівнем якості IT-послуг, в умовах консолідації та віртуалізації обчислювальних ресурсів, можна керувати шляхом регулювання обсягів обчислювальних ресурсів IT-інфраструктури, які виділені застосуванням, що надають ці послуги. Підтримка рівня якості надаваних IT-інфраструктурою на узгодженому рівні, вимагає розробку моделей та методів аналізу якості IT-послуг та створення відповідної інформаційної технології і системи управління якістю сервісів для комплексного вирішення задач управління IT-інфраструктурою.

3. Запропоновано метод оцінювання поточного рівня якості IT-послуг з використанням апаратів нечіткої логіки та нейронних мереж. Метод дозволяє на основі даних моніторингу обладнання та подальшого зведення метрик до рівня сервісів визначати поточний рівень якості IT-послуг та ступень задоволеності користувачів даними послугами.

4. Запропоновано метод структурного навчання нейронних мереж, який здатний динамічно підлаштовувати структуру нейронної мережі безпосередньо під час її навчання. Даний метод дозволив зменшити помилку нейромережових класифікаторів та автоматично підлаштовувати структуру нейромережового класифікатора відповідно до поставлених задач управління якістю IT-послуг.

5. Запропоновано метод оцінювання поточного рівня якості сервісу, що надається IT-інфраструктурою, з використанням апаратів нечіткої логіки та непараметричної статистики. Метод дозволяє на основі даних моніторингу параметрів компонент IT-інфраструктури визначати компоненти IT-інфраструктури, функціонування яких має відхилення від нормативного.

6. Запропоновано метод оцінювання якості ІТ-послуг з використанням апаратів нечіткої логіки та непараметричної статистики, що дозволяє визначати якість послуги, що надавалася протягом заданого інтервалу часу, на основі поточних значень параметрів функціонування.

7. Запропоновано метод управління якістю ІТ-послуг на основі даних моніторингу роботи інформаційно-телекомунікаційних ресурсів ІТ-інфраструктури. Метод дозволяє генерувати керуючі впливи на ІТ-інфраструктуру при систематичному відхиленні рівня якості послуги від узгодженого рівня.

8. Запропоновано підхід до налаштування системи автоматичного управління ІТ-інфраструктурами. Даний підхід використовує апарат нечіткої логіки для визначення керуючих впливів. Сценарії, на які має реагувати система автоматичного управління прописуються у формі нечіткої бази правил. При відхиленні рівня якості надаваного сервісу, система автоматично визначає сукупність сценаріїв, що необхідно задіяти та ресурси ІТ-інфраструктури, що треба розподілити між її елементами для забезпечення узгодженого рівня якості сервісів.

9. Розроблено метод балансування навантаження на сервери ІТ-інфраструктури, що дозволяє розподіляти запити користувачів на сервери відповідно до поточного рівня якості ІТ-послуг, що задають дані сервери. Розроблений метод дозволяє запобігати зменшенню рівня якості надаваних ІТ-послуг відповідно до поточного навантаження на сервери ІТ-інфраструктури.

10. Розроблені моделі, методи та алгоритми використані при проектуванні і реалізації підсистеми управління інфраструктурами ТОВ «СІПІУС ПРО», ТОВ «АЙАДМІН». Це дозволило скоротити в середньому на 15-20% час на проектування і реалізацію підсистем, скоротити витрати на експлуатацію серверного парку на 10-15% з одночасним збільшенням ефективності його використання. На основі моделей, методів та інформаційних технологій управління ІТ-інфраструктурами розроблено методичне забезпечення, яке використане в навчальному процесі кафедри автоматизації та управління в технічних системах КПІ ім. Ігоря Сікорського.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Теленик С.Ф. Система управления ИТ-инфраструктурой – путь к повышению эффективности функционирования предприятия / С.Ф. Теленик, А.И. Ролик, М.М. Букасов, А.В. Волошин, Д.А. Галушко // Інформаційні технології – інструмент підвищення конкурентоздатності підприємств: 9–10 груд. 2009.: матеріали конф. – К.: УкрНЦ РІТ, 2009. – С. 30–33.

Особисто здобувачем була запропоновано метод оцінювання якості елементів ІТ-інфраструктури на базі нечіткої логіки.

2. Ролик А.И. Система управления корпоративной информационно-телекоммуникационной инфраструктурой на основе агентского подхода / А.И. Ролик, А.В. Волошин, Д.А. Галушко, П.Ф. Можаровский, А.А. Покотило // Вісник НТУУ «КПІ»: Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – К.: ВЕК+, 2010. – № 52. – С. 39–52

Особисто здобувачем була запропоновано використовувати у агентах методи нечіткої логіки.

3. Ролик А.И. Метод нечеткой непараметрической оценки качества функционирования элементов информационно-телекоммуникационных систем /

А.И. Ролик, Д.А. Галушко, П.Ф. Можаровский, А.А. Андриенко, В.М. Вовк // Адаптивні системи автоматичного управління. Міжвідомчий наук.-техн. зб. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2012. – Вип. 19 (39). – С. 115–125.

Особисто здобувачем запропоновано метод використання зоноїдів для оцінювання рівня якості функціонування

4. Ролик А.И. Метод оценки состояния элементов информационно-телекоммуникационных систем на основе нечетких нейронных сетей / А.И. Ролик, Д.А. Галушко, Ю.А. Кононенко // Обчислювальний інтелект (Результати, проблеми, перспективи): матеріали II-ї Міжнар. наук.-техн. конф. «Обчислювальний інтелект (QI-2013)», м. Черкаси, 14-18 травня 2013 р. – Черкаси: – 2013. – С. 233

Особисто здобувачем запропоновано поєднати нейромережевий класифікатор та нечіткий вивід для оцінки якості функціонування елементів інформаційно-телекомунікаційних систем

5. Telenyk S. Data center resource management for VPS hosting / S. Telenyk, O. Rolik, M. Bukasov, D. Halushko // Proc. of the International Congress on Control and Information Processing 2013 (ICCIP'13) 7–8 December, Cracow, Poland. – 2013.

Особисто здобувачем була запропонована функціональна структура системи управління інформаційно-телекомунікаційною системою корпоративної АСУ.

6. Ролік О.І. Метод оцінки стану елементів інформаційно-телекомунікаційних систем на базі апарату нечіткої логіки / О.І. Ролік, Д.О. Галушко, І.М. Плехова, Б.В. Ступак // Physical and technological problems of radio engineering devices, telecommunication, nano- and microelectronics. Proceedings of the 3th international scientific-practical conference. Chernivtsi, Ukraine, October 24–26, 2013. – Чернівці: КОД. – 2013. – С. 104–105.

Особисто здобувачем була розроблена система правил для оцінювання якості функціонування елементів інформаційно-телекомунікаційної системи.

7. Telenyk S. Models and methods of resource management for VPS hosting / S. Telenyk, O. Rolik, M. Bukasov, D. Halushko // Technical transaction. Automatic control. – Politechnica Krakowska, 2013. – vol. 4-AC. – pp. 41–52.

Особисто здобувачем була запропонована функціональна структура системи управління.

8. Qualitative evaluation method of IT-infrastructure elements functioning / S. Telenyk, O. Rolick, M. Bukasov, Y. Dorogiy, D. Halushko, A. Pysarenko // 2014 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom), Odessa, 2014, pp. 165-169.

Особисто здобувачем була розроблена система правил для оцінювання якості функціонування елементів інформаційно-телекомунікаційної системи. Також було запропоновано використовувати нейронні мережі в поєднанні з нечіткою логікою для побудови класифікаторів

9. Structural Optimization of Neural Network for Qualitative Evaluation Method of IT-Infrastructure Functioning / Yaroslav Yu. Dorogyu, Sergii F. Telenik, Dmytro A. Halushko, Vasyl V. Tsurkan // Information and telecommunication sciences: international research journal. – 2015. – Vol. 6, N. 2(11). – Pp. 36–43. – Bibliogr.: 15 ref.

Особисто здобувачем була запропонована архітектура системи та алгоритми оцінювання якості функціонування елементів ІТ-інфраструктури. Разом з іншими авторами був розроблений алгоритм структурного навчання нейронних мереж.

10. Ролик А.И. Метод оценки качества телекоммуникационных сервисов на основе нейронных сетей со структурным обучением / А.И. Ролик, Д.А. Галушко, Д.С. Захаров, А.В. Томащук // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): III-я Міжнародна наук.-практ. конф., 12-15 травня 2015 р. Київ-Черкаси: матеріали. – Черкаси: видавець Чабаненко Ю., 2015. – С. 250–251.

Особисто здобувачем було запропоновано структуру нейромережевого класифікатору.

11. Rolik O. Neural network approach for resource allocation in IT-infrastructure Management System / O. Rolik, V. Kolesnik, D. Halushko // Proc. of the Congress on Information Technology, Computational and Experimental Physics 2013 (CITCEP'15) 18–20 December, Cracow, Poland. – 2015. – p. 176–179.

Особисто здобувачем була запропонована функціональна структура системи управління ресурсами інформаційно-телекомунікаційної системи.

12. Ролик А.И. Управление ресурсами виртуальной ИТ-инфраструктуры для поддержания заданного уровня предоставляемых сервисов / А.И. Ролик, Д.А. Галушко, Н.В. Кравчун, Т.В. Кравченко // ICACIT-2015: 3-я Міжнар. конф. з автоматичного управління та інформаційних технологій, 11-13 грудня 2015 р. м. Київ: матеріали. – К., 2015. – с. 80–83.

Особисто здобувачем було запропоновано структуру нейромережевого класифікатору.

13. Ролик А.И. Оценка качества предоставления мультимедийных сервисов с использованием нейросетевого классификатора / Ролик А.И., Галушко Д.А., Барна В.В., Томащук А.В., Ясочка М.В. // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка: збірник наукових праць. – К.: Століття +, 2015. – № 63. – С. 25–30.

Особисто здобувачем було запропоновано структуру нейромережевого класифікатору та реалізовано архітектуру модулю оцінки якості медійного сервісу.

14. Rolik O. Neural network approach for resource allocation in IT-infrastructure Management System / O. Rolik, V. Kolesnik, D. Halushko // Information Technology, Computational and Experimental Physics. Kulczycki P., Kowalski P. A., Łukasik S. (eds). – AGN-UST. – 2016. – pp. 13-16.

Особисто здобувачем було запропоновано алгоритм перерозподілу ресурсів ІТ-інфраструктури.

15. Rolik O. Decomposition-compensation method of service level management in corporate IT infrastructures with the use of adaptive genetic algorithm / O. Rolik, V. Kolesnik and D. Halushko // Proc. of the International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo). – Kiev, Ukraine. – 2016. – pp. 1–5.

Особисто здобувачем було запропоновано архітектуру застосунку, що дозволяв використовувати викладені у роботі алгоритми для декомпозиції сервісів.

16. D. Halushko, O. Rolik, and V. Samotyuy, “A Load Balancing Mechanism Based on Fuzzy Nonparametric Analysis of QoS Parameters” in Proc. CLOUD COMPUTING 2017: The Eighth International Conference on Cloud Computing, GRIDs, and Virtualization, February 19-23, 2017 Athens, Greece, IARIA, 2017, pp. 102-107.

Особисто здобувачем було запропоновано алгоритм перерозподілу ресурсів ІТ-інфраструктури та архітектуру застосунку, що дозволила використовувати викладені у роботі алгоритми балансування навантаження.

17. Rolik O., Kolesnik V., Halushko D. Decomposition-Compensation Method for IT Service Management. In: Kulczycki P., Kóczy L., Mesiar R., Kacprzyk J. (eds) Information Technology and Computational Physics. CITCEP 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 462, Springer, Cham, 2017, pp. 89-107.

Особисто здобувачем було запропоновано архітектуру застосунку, що дозволяє керувати IT-сервісами.

18. IT Service Quality Management Based on Fuzzy Logic O Rolik, V Kolesnik, D Halushko International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 – Proceedings 31 January 2019, Article number 8632073, Pages 604-608.

Особисто здобувачем було запропоновано систему правил для управління рівнем якості IT-сервісів.

АНОТАЦІЯ

Галушко Д.О. Управління якістю IT-послуг у корпоративній IT-інфраструктурі. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2021.

В дисертації вирішено важливу науково-практичну задачу розроблення комплексу математичних моделей, методів і інформаційної технології аналізу та управління рівнем якості IT-послуг у IT-інфраструктурах.

На основі аналізу проблем управління якістю IT-сервісів у корпоративній IT-інфраструктурі встановлено, що для підвищення конкурентоспроможності та ефективного виконання бізнес-процесів постачальників IT-послуг необхідно підтримувати якість IT-послуг на узгодженому рівні за умов раціонального використання ресурсів IT-інфраструктури. Визначено, що рівнем якості IT-сервісів в умовах консолідації та віртуалізації обчислювальних ресурсів можна керувати шляхом регулювання обсягів обчислювальних ресурсів IT-інфраструктури, які виділені застосункам, що надають ці послуги.

Запропоновано метод оцінювання якості IT-сервісу, що дозволяє на основі даних моніторингу обладнання та подальшого зведення метрик до рівня сервісів визначати поточний рівень якості IT-сервісу та ступень задоволеності користувачів послуг.

Розроблено алгоритм структурного навчання нейронних мереж, який здатний динамічно підлаштовувати структуру нейронної мережі безпосередньо під час її навчання. Даний метод дозволяє зменшити помилку нейромережових класифікаторів та автоматично підлаштовувати структуру нейромережового класифікатору відповідно до поставлених задач управління якістю IT-послуг.

Запропоновано метод оцінки якості сервісу, що надається IT-інфраструктурою, з використанням апаратів нечіткої логіки та непараметричної статистики. Метод дозволяє на основі даних моніторингу визначати компоненти IT-інфраструктури функціонування яких має відхилення від нормативного

Розроблені моделі та методи, а також інші результати дисертаційної роботи використані при проектуванні і реалізації підсистеми управління інфраструктурами кількох IT-компаній. Це дозволило скоротити в середньому на 15-20% час на

проектування і реалізацію підсистем, скоротити витрати на експлуатацію серверного парку на 10-15% з одночасним збільшенням ефективності його використання.

Ключові слова: нейронна мережа, нечітка логіка, зоноід, ІТ-інфраструктура, якість, системи керування.

АННОТАЦИЯ

Галушко Д.А. Управление качеством ИТ-услуг в корпоративной ИТ-инфраструктуре. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, 2021.

В диссертации решена важная научно-практическая задача разработки комплекса математических моделей, методов и информационной технологии анализа и управления уровнем качества ИТ-услуг в ИТ-инфраструктурах.

На основе анализа проблем управления качеством ИТ-сервисов в корпоративной ИТ-инфраструктуре установлено, что для повышения конкурентоспособности и эффективного выполнения бизнес-процессов поставщиков ИТ-услуг необходимо поддерживать их качество на согласованном уровне в условиях рационального использования ресурсов ИТ-инфраструктуры. Определено, что уровнем качества ИТ-услуг в условиях консолидации и виртуализации вычислительных ресурсов можно управлять путем регулирования объемов вычислительных ресурсов ИТ-инфраструктуры, которые выделены приложениям, предоставляющим эти услуги.

Предложен метод оценки качества ИТ-услуги. Метод позволяет на основе данных мониторинга оборудования и дальнейшего сведения метрик до уровня сервисов определять текущий уровень качества ИТ-сервиса и степень удовлетворенности пользователей услуг.

Разработан метод структурного обучения нейронных сетей, который способен динамически подстраивать структуру нейронной сети непосредственно во время ее обучения. Метод позволил уменьшить ошибки нейросетевых классификаторов и автоматически подстроить структуру нейросетевого классификатора в соответствии с поставленными задачами управления качеством ИТ-услуг.

Предложен метод оценки качества сервиса, предоставляемого ИТ-инфраструктурой, с использованием аппаратов нечеткой логики и непараметрической статистики. Метод, на основе данных мониторинга, позволил определять компоненты ИТ-инфраструктуры, функционирование которых имеет отклонения от нормативного. На базе предложенного метода разработал и реализован метод балансировки нагрузки на сервера ИТ-инфраструктуры, позволяющей распределять запросы пользователей между серверами в соответствии с текущим уровнем качества ИТ-услуг, предоставляемых данными серверами. Разработанный метод позволяет предотвращать снижение уровня качества предоставляемых ИТ-услуг, с учетом текущей нагрузки на сервера ИТ-инфраструктуры.

Предложен подход, позволяющий настраивать системы автоматического управления ИТ-инфраструктурами. Данный подход использует аппарат нечеткой логики для определения управляющих воздействий. Сценарии, на которые должна

реагировать система автоматического управления, прописываются работниками ИТ-подразделений в форме нечеткой базы правил. При отклонении уровня качества предоставляемого сервиса, система автоматически определяет совокупность данных сценариев и ресурсы ИТ-инфраструктуры которые надо распределить между ее элементами для обеспечения согласованного уровня качества сервисов.

Разработанные модели и методы, а также другие результаты диссертационной работы использованы при проектировании и реализации подсистемы управления ИТ-инфраструктурами ряда ИТ-компаний. Их применение позволило сократить в среднем на 15-20% время на проектирование и реализацию подсистем, сократить затраты на эксплуатацию серверного парка на 10-15% с одновременным увеличением эффективности его использования.

Ключевые слова: нейронная сеть, нечеткая логика, зоноид, ИТ-инфраструктура, качество, системы управления.

ABSTRACT

D. Halushko. Quality management of IT services in corporate IT infrastructure. – Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.13.06 – information technologies. National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, 2021.

The dissertation solves an important scientific and practical problem of developing a set of mathematical models, methods and information technology of analysis and quality management of IT infrastructure IT services.

Based on the analysis of IT service quality management problems in the corporate IT infrastructure, it is established that to increase the competitiveness and effective implementation of business processes of IT service providers it is necessary to maintain the quality of IT services at an agreed level under the rational use of IT infrastructure resources. It is determined that the level of quality of IT services in terms of consolidation and virtualization of computing resources can be managed by regulating the amount of computing resources of the IT infrastructure, which are allocated to the applications that provide these services.

Was determined that the level of quality of IT services, in terms of consolidation and virtualization of computing resources, can be managed by regulating the amount of computing resources of IT infrastructure, which are allocated to the applications that provide these services. Maintaining the level of quality provided by the IT infrastructure at the agreed level requires the development of models and methods of analysis of the quality of IT services and the creation of appropriate information technology and quality management services for integrated IT infrastructure management.

The method for assessing the current level of quality of IT services using fuzzy logic devices and neural networks is proposed. The method allows to determine the current level of quality of IT services and the degree of satisfaction of users with these services on the basis of equipment monitoring data and further reduction of metrics to the level of services.

The method of structural training of neural networks which is capable to dynamically adjust structure of a neural network directly during its training is offered. This method allowed to reduce the error of neural network classifiers and automatically adjust the

structure of the neural network classifier in accordance with the tasks of quality management of IT services.

The method for assessing the current level of service quality provided by the IT infrastructure, using devices of fuzzy logic and non-parametric statistics. The method allows to determine the components of the IT infrastructure, the operation of which has a deviation from the norm, on the basis of monitoring data of parameters of IT infrastructure components.

The method for evaluating the quality of IT services using fuzzy logic and non-parametric statistics is proposed, which allows to determine the quality of the service provided during a given time interval, based on the current values of the operating parameters.

The method of quality management of IT services on the basis of data of monitoring of work of information and telecommunication resources of IT infrastructure is offered. The method allows to generate control effects on the IT infrastructure with the systematic deviation of the quality of service from the agreed level.

An approach to setting up an automatic IT infrastructure management system is proposed. This approach uses a fuzzy logic apparatus to determine control effects. The scenarios to which the automatic control system should respond are prescribed in the form of a fuzzy rule base. When the level of quality of the provided service is rejected, the system automatically determines the set of scenarios that need to be used and the resources of the IT infrastructure that need to be distributed among its elements to ensure a consistent level of quality of services.

The method of load balancing on IT infrastructure servers has been developed, which allows distributing user requests to servers according to the current level of quality of IT services specified by these servers. The developed method allows to prevent the reduction of the level of quality of provided IT services in accordance with the current load on the servers of the IT infrastructure.

Developed the models, methods and algorithms used in implementation of the infrastructure management subsystem for several IT-companies. This allowed to the time for the design and implementation of subsystems, reduce the cost of operating the server fleet while increasing the efficiency of its use. Based on models, methods and information technologies of IT infrastructure management, methodological support has been developed, which is used in the educational process of the Department of Automation and Control in Technical Systems of KPI. Igor Sikorsky.

Keywords: neural network, fuzzy logic, zonoid, IT infrastructure, quality, control systems.